

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra robototechniky**

**Konstrukční návrh manipulačního ramena na  
pásový robot**

**The Mechanical Design of Manipulator Arm for Belt  
Robot**

Student:

Bc. Roman Mazur

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Ostrava 2012



## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Roman Mazur**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T013 Robotika  
Téma: **Konstrukční návrh manipulačního ramena na pásový robot**  
**The Mechanical Design of Manipulator Arm for Belt Robot**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu současného stavu a navrhnete varianty řešení možných koncepcí manipulačního ramena na pásový robot.
2. Proveďte výběr optimální varianty.
3. Konstrukční návrh vybrané varianty podrobně rozpracujte dle pokynů vedoucího s využitím CAD systému Pro/ENGINEER.
4. Výkresovou dokumentaci zpracujte dle pokynů vedoucího.
5. Vypracujte technickou zprávu s potřebnými výpočty a zhodnoťte dosažené výsledky.
6. Závěr.
7. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD, PDF a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynu vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB-TU Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.

KÁRNÍK, L. - KNOFLÍČEK, R. - MARCINCIN, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.

MENZEL, P. - D'ALUSIO, F. *Robo sapiens: evolution of a new species*. USA, New York, 2000. 239 p. ISBN 0-262-13382-2.

SKARUPA, J. - MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ladislav Kárník, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



---

prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



---

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

Bc. Roman Mazur

Adresa:

Sv. Čecha 1075

Nový Bohumín

735 81



## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MAZUR, R. Konstrukční návrh manipulačního ramena na pásový robot. Ostrava: katedra robototechniky, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2012, xx s. Diplomová práce, Vedoucí Kárník, L.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem manipulačního ramena na pásový robot. V úvodu je provedena analýza současného stavu. Dále jsou navrženy tři varianty řešení podvozku a výběr optimální varianty. Optimální varianta podvozku manipulačního ramena na pásový robot je konstrukčně zpracován v systému Pro Engineer. Řešení je doloženo pevnostní analýzou rámu v programu Pro Engineer a funkčním výpočtem použitých lineárních pohonů.

## ANNOTATION OF THESIS

MAZUR, R. The Mechanical Design of Manipulator Arm for Belt Robot. Ostrava: Department of Robotics, Faculty of Mechanical Engineering VŠB-Technical University of Ostrava, 2012, XX sp. Thesis, head: Kárník, L.

Master's thesis deals with the mechanical design of manipulator arm for belt robot. At the beginning of the thesis is made current status analysis. At further part of the thesis there are suggested free variants solution of chassis and the selection of an optimal variant. The optimal variant of manipulator for belt robot is constructionally processed in Pro Engineer system. This solution is documented by strength analysis of frame that was made in the program Pro Engineer and functional calculation of used linear drives in bachelor's thesis.





## Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval Ing. Ladislavu Kárníkovi, CSc. za podnětné připomínky a odbornou pomoc při vytváření mé diplomové práce.



## Obsah diplomové práce

1	Úvod.....	8
2	Analýza současného stavu ramen .....	9
2.1	Mobilní robotické rameno .....	10
2.2	Hybridní mobilní robot .....	11
2.3	IROBOT 510 PackBot .....	11
2.4	Segway RMP 400 .....	12
2.5	OmniRob .....	13
2.6	Talon .....	13
2.7	Inspector robot.....	14
2.8	EID-Robot telefax.....	15
2.9	SuperDroid HD2 SWAT .....	15
2.10	Ostatní .....	16
3	Lineární aktuátory.....	17
3.1	Požadavky kladený na lineární aktuátory .....	17
3.2	Rešerše .....	17
4	Požadavkový list.....	18
5	Koncepční návrhy ramen .....	19
5.1	Varianta A .....	19
5.2	Varianta B .....	22
5.3	Varianta C .....	25
6	Výběr optimální varianty .....	28
6.1	Teoretická část.....	28
6.2	Řešení.....	31
7	Úprava požadavkového listu .....	34
8	Návrh zvolené varianty .....	35

9	Zakoupené komponenty .....	39
10	Závěr .....	40
11	Seznam použitých pramenů.....	42
12	Přílohy .....	44

## 1 Úvod

Už kdysi dávno si člověk uvědomil, že nejsnazší způsob je ten nejlepší. A proto se snažil o vytvoření různých pomůcek pro lehčí a bezpečnější život. Na počátku to byly jednoduché pomůcky k přežití a teď to jsou mnohem složitější stroje, manipulátory. Už v minulém století člověka napadla myšlenka, že by mohl sestrojit stroj, který by za něj dělal nebezpečnou práci.

Manipulátory jsou stroje, které můžeme ovládat na delší vzdálenosti. Jsou to stroje, které pracují za nás v nebezpečných podmínkách a tím nám zachraňují životy v případě špatných rozhodnutí, nebo nehodách. Jejich výroba je sice složitá a nákladná, ale stále je to cena nižší, než lidský život.

V této diplomové práci se snažím o konstrukční návrh manipulačního ramene, pro bezpečnou manipulaci předmětů ve špatných podmínkách. Pro jeho pohyby jsou použity výhradně lineární pohony. Je navrhnut speciálně na pásový podvozek, který byl sestrojen studenty na technické univerzitě v Ostravě.

## **2 Analýza současného stavu ramen**

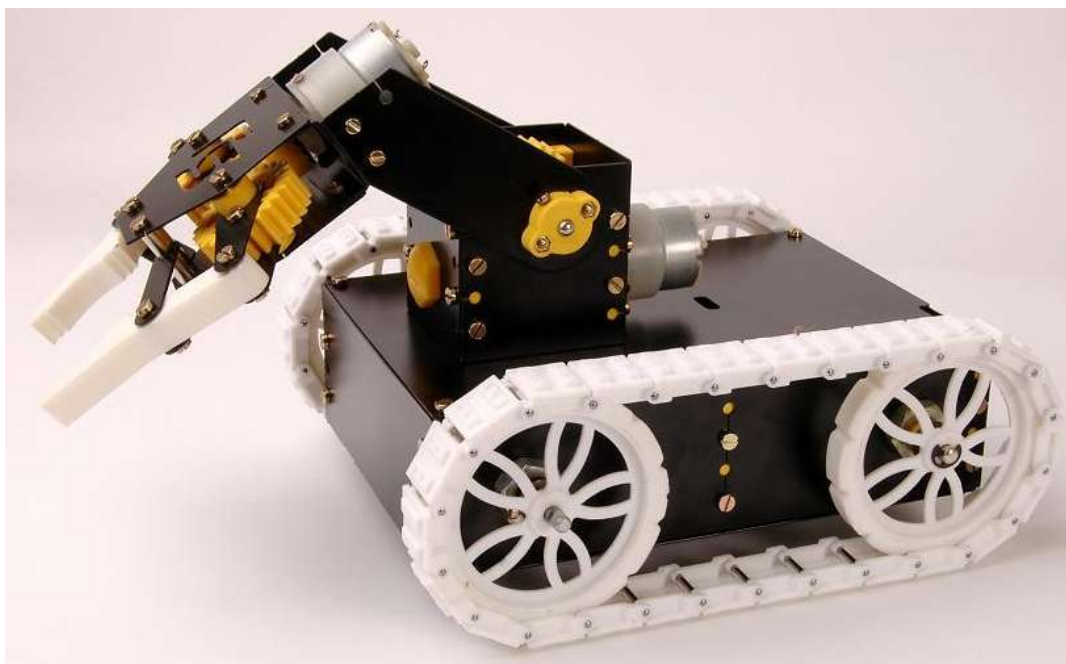
Na trhu se vyskytuje spousta manipulačních ramen na různých podvozcích. Jejich úkol je vždy stejný, manipulovat s předměty při větších vzdálenostech od člověka. Ramena jsou skoro totožná na pohled, liší se však schopnostmi, kterými oplývají. Při návrhu ramen musíme vždy zohledňovat finanční stránku výrobku. A proto ramena konstrukčně odpovídají úkolům, na které jej chceme aplikovat. Nebudeme tedy složitá ramena aplikovat na úkoly, kde potřebujeme předmět posunout po přímce.

Aby člověk na větší vzdálenost vždy viděl, jak manipulace předmětu probíhá, jak jej rameno uchopuje, je vždy nutný kamerový systém. Kamery jsou buď připevněné na podvozku a mají pohony pro jejich polohování, nebo jsou umístěny na ramenou.

V této kapitole je skromný souhrn současných manipulačních ramen seřazený podle anglických názvů. U každého je jednoduchá tabulka s jejími parametry, které udávají prodejci, nebo jejich výrobci.

## 2.1 Mobilní robotické rameno

Na obrázku (obr.2.1.1) je vyfocen podvozek s ramenem robotu. Má pouze jeden stupeň volnosti, manipulační rameno tedy bude využíván pouze pro jednoduchou manipulaci s předměty. Jeho výhoda je ve velikosti a s tím je spjata jeho nevýhoda, jeho nosnost. Jeho parametry jsou zobrazeny v tabulce (Tab.2.1.1) (1)



**Obr. 2.1.1 – podvozek s ramene robotu**

Zařazení	Manipulace malých předmětů v malých prostorech
Cena (dolarů)	135
Hmotnost	neuvedena
Šířka/délka/výška (mm)	230/300/250

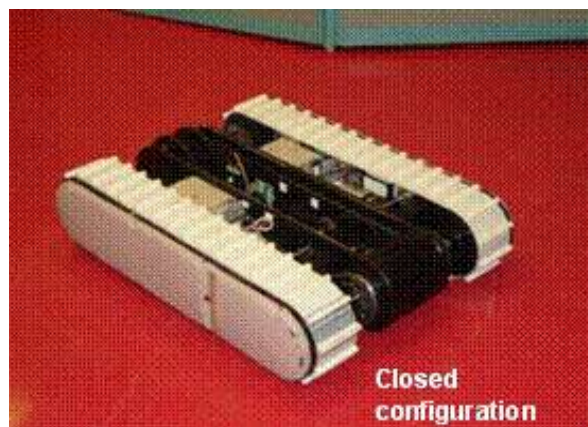
**Tab. 2.1.1 – Vlastnosti robotu**

## 2.2 Hybridní mobilní robot

Toto robotické rameno na pásovém podvozku je navrženo pro planetární průzkum, policejní operace, vojenské operace, nebo pro zkoumání nebezpečných míst. Jak je patrné na fotografiích má tento mobilní robot dvě polohy. Při manipulaci je rameno vysunuto dle požadavků (Obr. 2.2.) Pro rychlý přesun je poloha složený (obr.2.3). (2)



Obr. 2.2.1 – poloha vysunutá



Obr. 2.2.2 – poloha složená

## 2.3 IROBOT 510 PackBot

Firma iRobot začínala s řadou robotických vysavačů a teď se jeho výroba rozrostla o roboty k taktickým účelům. Tento robot byl navržen pro pyrotechnické účely. Lze na něj dokoupit sadu doplňků pro širší využití ve vojenském, nebo průmyslovém odvětví. (3)

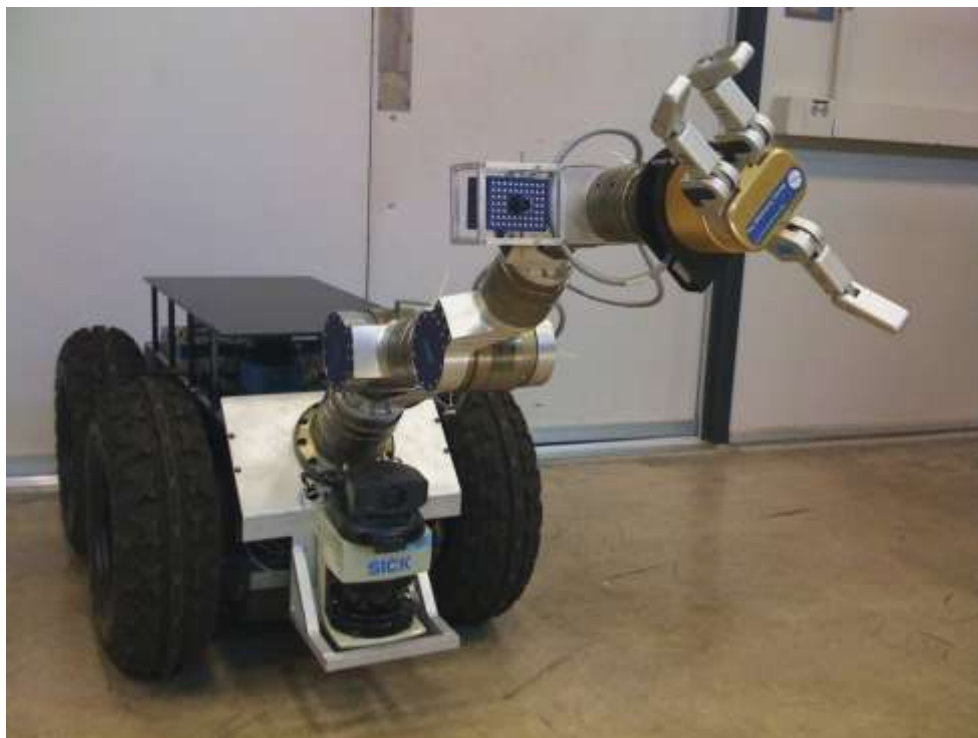


Obr. 2.3.1 – iRobot 510 PackBot



## 2.4 Segway RMP 400

Tento robot (Obr. 2.4.1) byl vyvinut na Texaské univerzitě v Austinu. Je navrhnut pro testování v oblasti výzkumu manipulace s radioaktivními předměty. Ale lze je aplikovat i pro jiné účely. Vlastnosti robotu jsou zobrazeny v tabulce (Tab.2.4.1) (4)



**Obr. 2.4.1 – Segway RMP 400**

Zařazení	manipulace v nebezpečných podmínkách
Hmotnost (kg)	180
Nosnost (kg)	10

**Tab. 2.4.1 – tabulka vlastností**

## 2.5 OmniRob

Tento robot (Obr. 2.5.1) je navrhnut pro průmyslové odvětví. I když by se dal použít i pro mnohem nebezpečnější úkoly. Jeho nevýhoda je v podvozku, který je docela robustní. Velké rozměry se snaží zvýhodnit použitými koly. Tento robot vlastní tzv. všesměrová kola, které se projevují výhodným ovládáním robotu v úzkých prostorech. Bohužel o tomto robotu jsem se nedozvěděl více informací, zdrojové stránky jsou pouze reklamní a technická data lidem, který nemá zájem zakoupit tento robot, prodejce nerad sděluje. (5)



Obr. 2.5.1

## 2.6 Talon

Robot Talon (Obr.2.6.1) je navržen pro zneškodňování výbušnin. Je provozován pomocí rádiových frekvencí a vybaven čtyřmi kamerami pro velký přehled při práci. Robot je vodotěsný až do hloubky 30m. Byl využit také pro nalezení obětí v troskách World Trade Center. Použití robota je hlavně pro bojové a záchranné účely. (6)



Obr. 2.6.1 – Robot Talon

## 2.7 Inspector robot

Robot (Obr. 2.7.1) byl navržený polskými designéry pro využití ve speciálních silách (policie, armáda, pohraniční stráž). Vlastnosti robotu jsou zobrazeny v tabulce (Tab. 2.7.1) (7)



**Obr. 2.7.1 – Inspector robot**

Zařazení	Zásahový robot
Tažná hmotnost (kg)	1500
Nosnost (kg)	60
Šířka/délka/výška (mm)	-

**Tab. 2.7.1 – Tabulka vlastností**

## 2.8 EID-Robot telefax

Následující robot (Obr.2.8.1) byl navržen pro zneškodňování nebezpečných předmětů v zavřených prostorech, dokáže překonat vysoké překážky až 500mm. Na fotografii si můžeme všimnout počtu kamer, které jsou umístěny přímo na ramenou robota. (8)



Obr. 2.8.1 – EID-Robot telefax

## 2.9 SuperDroid HD2 SWAT

Robot (Obr. 2.9.1), (Tab. 2.9.1) byl navržen pro taktické účely. Slouží ke zpravodajským službám a k zneškodňování nebezpečných předmětů. U toho to typu lze připevnit i střelné zbraně. (9)



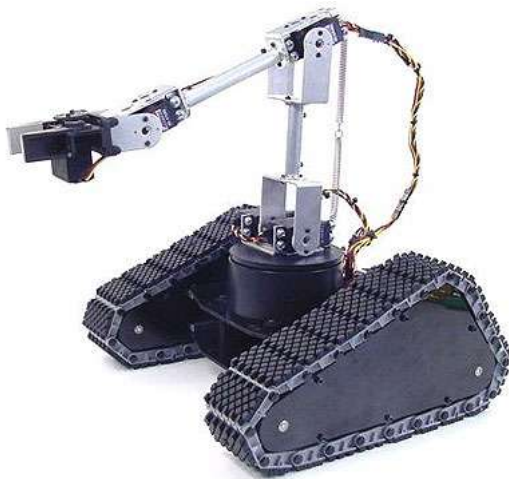
Obr. 2.9.1 – SuperDroid HD2 SWAT

Zařazení	Zásahový robot
Hmotnost (kg)	182
Cena (dolarů)	33 600
Šířka/délka/výška (mm)	559/966/242

Tab. 2.9.1 – vlastnosti robotu

## 2.10 Ostatní

Protože je na internetu spousta odkazů různých robotů pro různé účely, vložil jsem zde ještě několik fotografií robotů. (Obr. 2.10.1-2.10.4)



Obr. 2.10.1 – RB-Lyn-212 (10)



Obr. 2.10.2 – MAARS robot (11)



Obr. 2.10.3 – aplikace robotu při přemístění předmětů (12)



Obr. 2.10.4 – Taktický robot (13)

### 3 Lineární aktuátory

#### 3.1 Požadavky kladené na lineární aktuátory

Podle požadavkového listu je zapotřebí u návrhu ramene použít (pokud možno) lineární pohony. Při výběru nejvhodnějšího aktuátoru se budeme řídit pravidly uvedených tabulce. (Tab.3.1.1)

Požadavky pro lineární aktuátory	
Vnější rozměry	co nejmenší rozměry
Výkon/rozměr	největší výkon/nejmenší rozměry
Max. napětí	24 V

**Tab. 3.1.1 – požadavky kladené na lineární aktuátor**

#### 3.2 Rešerše

V tabulce (Tab.3.2.1) je uveden seznam firem prodávajících lineární aktuátory. Ze seznamu je patrné, že na trhu je dostatek firem a výrobků a proto nebude obtížné najít nejvhodnější lineární aktuátor.

Seznam firem prodávajících lineární aktuátory	
Firma	Sídlo firmy (nebo její pobočky)
Transmotec (14)	Česká Republika (Brno)
TG drives (15)	Česká Republika (Brno)
REM-Technik s.r.o. (16)	Česká Republika (Brno)
Bibus s.r.o. (17)	Česká Republika (Brno)
Linak C&S s.r.o. (18)	Česká Republika (Majetín)
SKF, a.s. (19)	Česká Republika
Aei (20)	-
Firgelli Automations (21)	USA
Ultra Motion (22)	USA
Progressive automations (23)	Kanada
Warner Electric (24)	USA
B. Ketterer Söhne GmbH & Co. KG (25)	Německo
Elero GmbH (26)	Německo
Globe Motors (27)	USA
OSLV Italia Srl (28)	Itálie
S.I.R. S.r.l. (29)	Itálie

**Tab. 3.2.1 - Vybraný seznam firem poskytující lineární aktuátory**

## 4 Požadavkový list

Na konstrukční návrh jsou kladeny tyto požadavky. (Tab. 4.1)

Nosnost ramene	25 kg
Maximální počet stupňů volnosti	4
Druhy pohonu	pokud možno lineární pohon
Maximální dosah ramene	(1,5 – 2) m
Rychlost ramen	(0,5-1) ms <sup>-1</sup>
Zrychlení ramene v koncovém bodu	(0,5-1)ms <sup>-2</sup>
Vlastnosti ramene	rameno by mělo být voděodolné a prachuvzdorné pro vnitřní i venkovní použití

**Tab. 43.2.1 – požadavky kladeny na návrh ramene**

- Rameno bude obsahovat brzdy na pohonu pro případ výpadku proudu.
- Hmotnost ramene není zadána, podmínka je vyřešit konstrukčně co nejlehčí a nejlevnější rameno.
- Poslední část ramene bude konstruována jako efektor navržený studentem minulého ročníku.

## 5 Koncepční návrhy ramen

V této kapitole jsou znázorněny 3 koncepční návrhy řešení.

Návrhy obsahují:

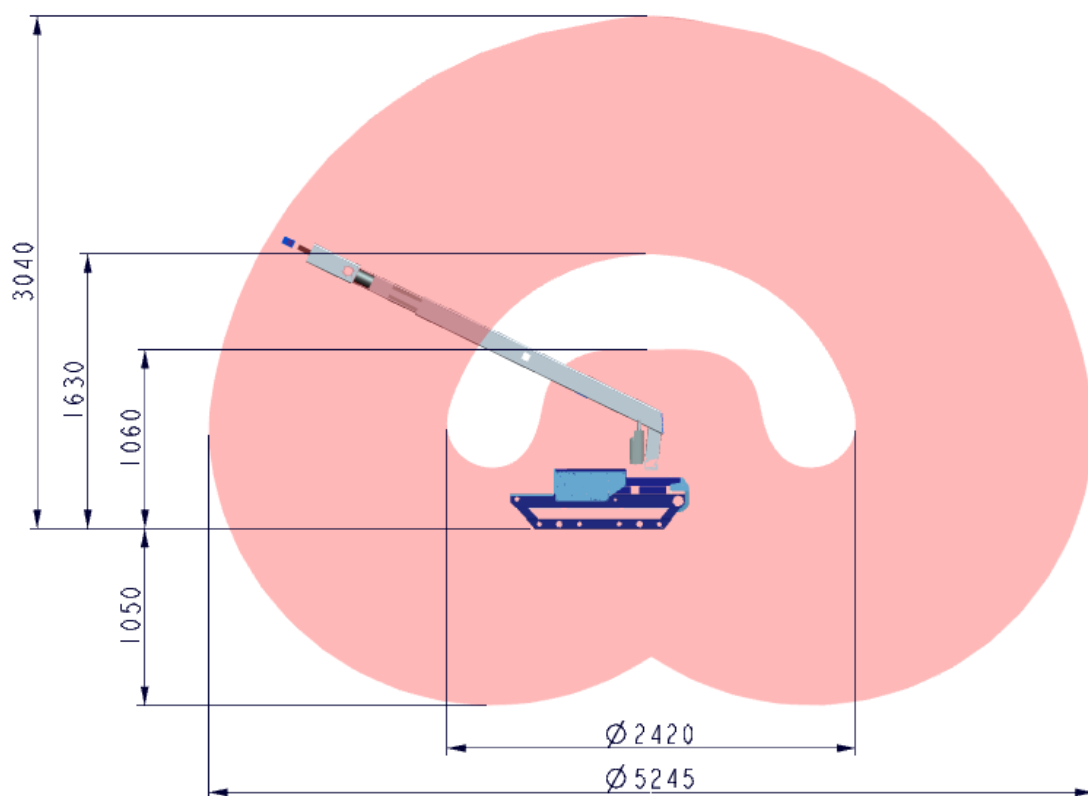
- 3D model
- Vykreslen pracovní prostor
- Parkovací poloha ramene

### 5.1 Varianta A



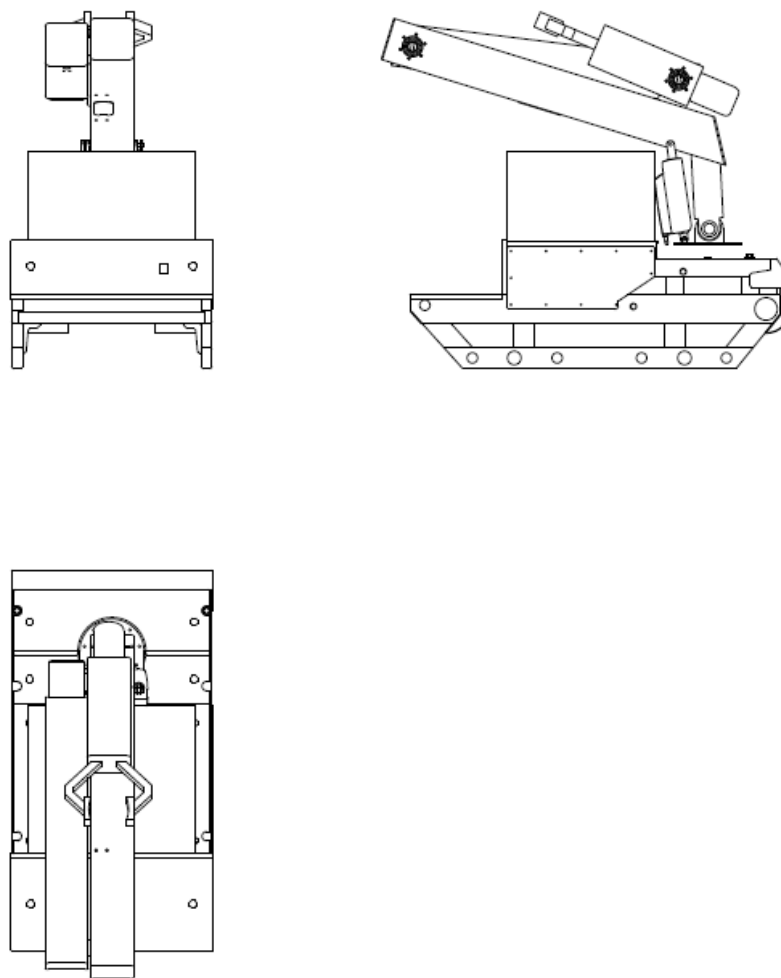
**5.1.1 – Koncepční návrh varianty A**





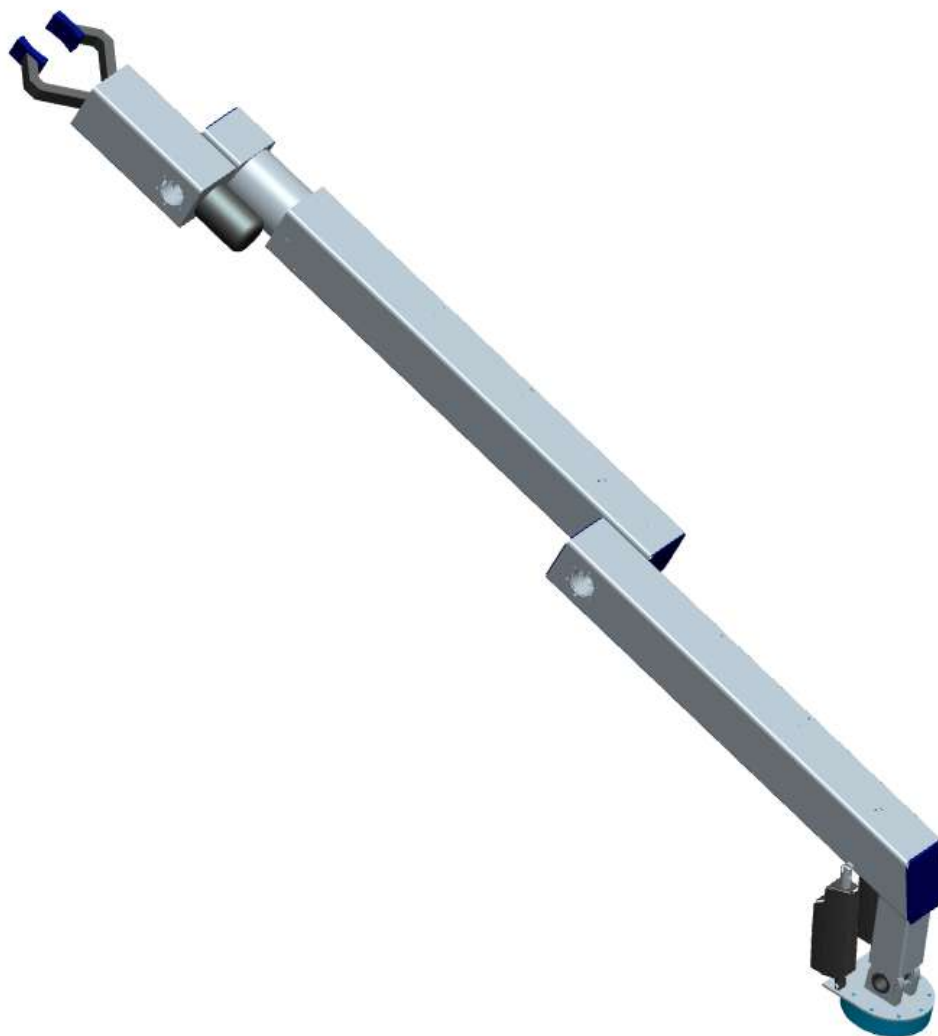
Objem pracovního prostoru:  $5,759 \times 10^{10} \text{ mm}^3$

### 5.1.2 – Pracovní prostor ramene A

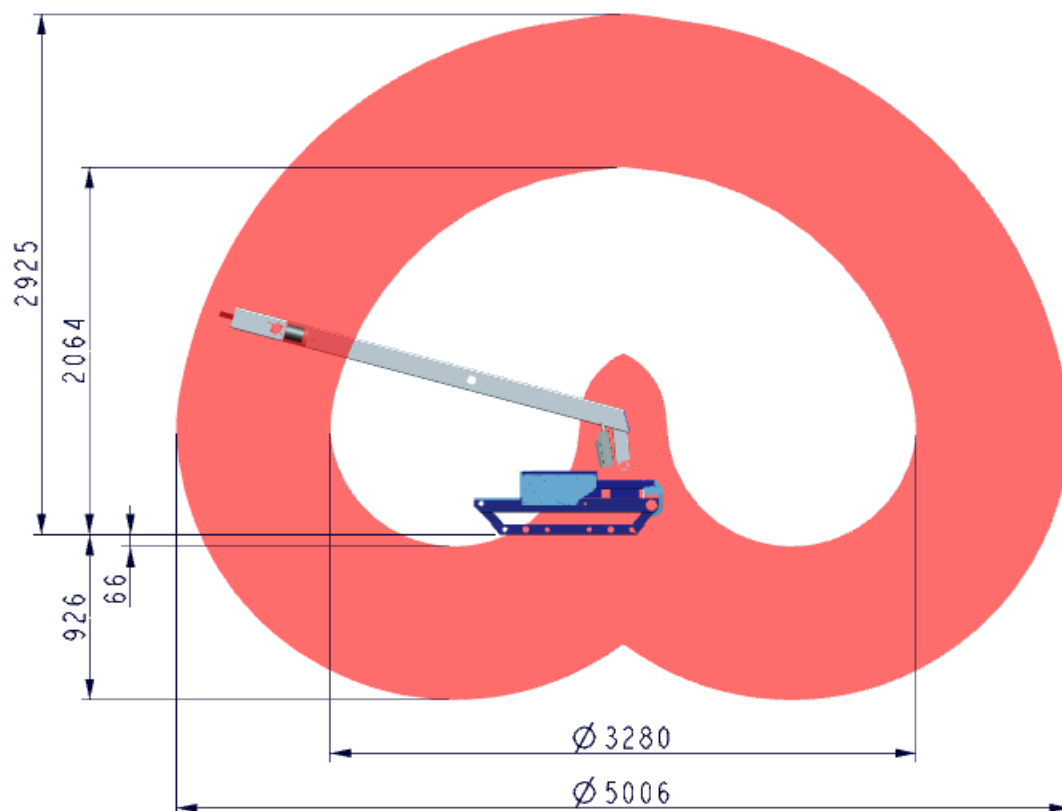


**5.1.3 – Parkovací poloha ramene A**

## 5.2 Varianta B

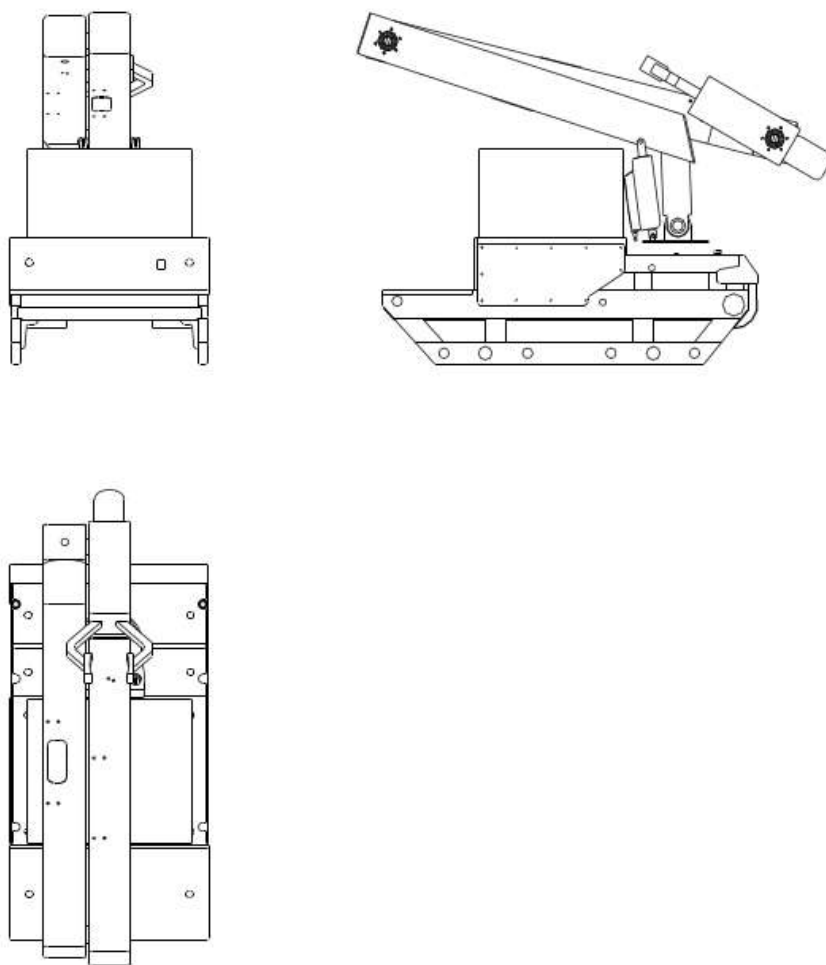


### 5.2.1 – Koncepční návrh ramene B



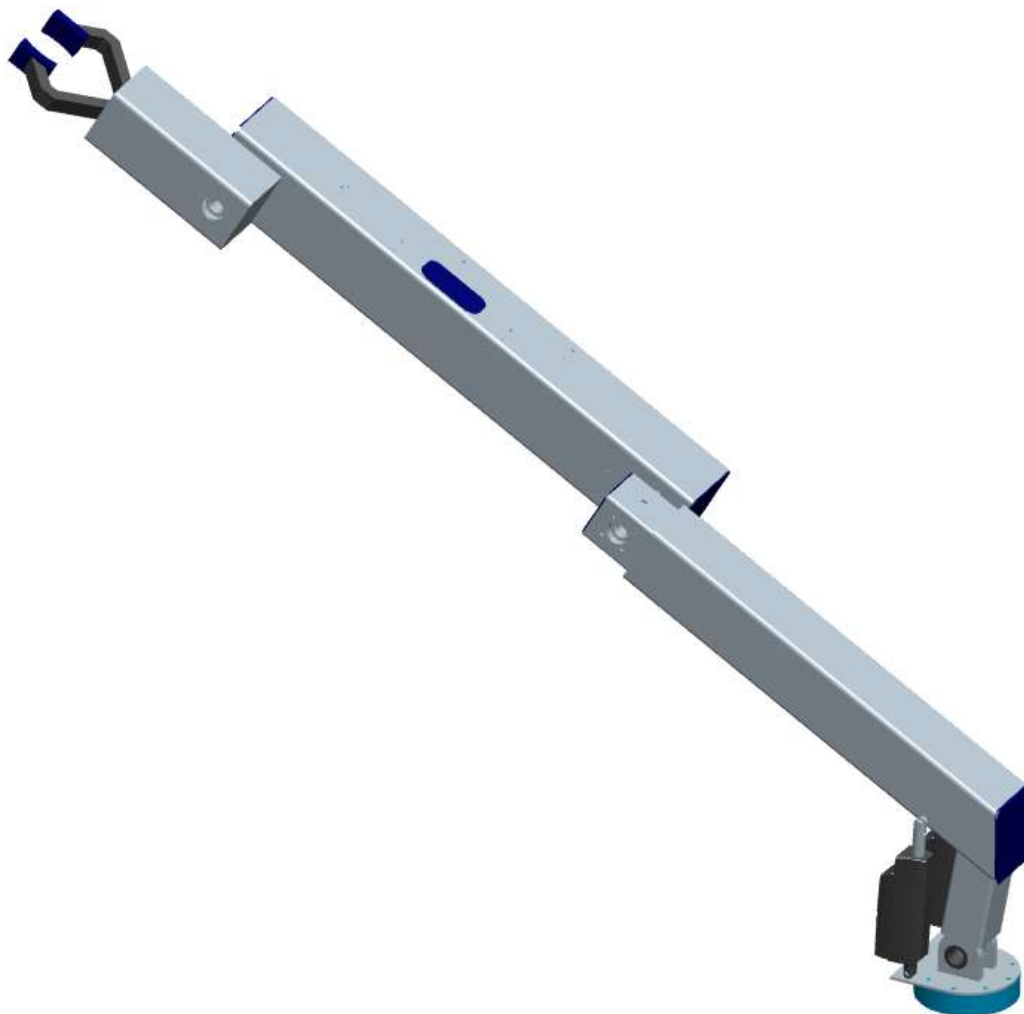
Objem pracovního prostoru:  $4 \times 10^{10} \text{ mm}^3$

### 5.2.2 – Pracovní prostor ramene B

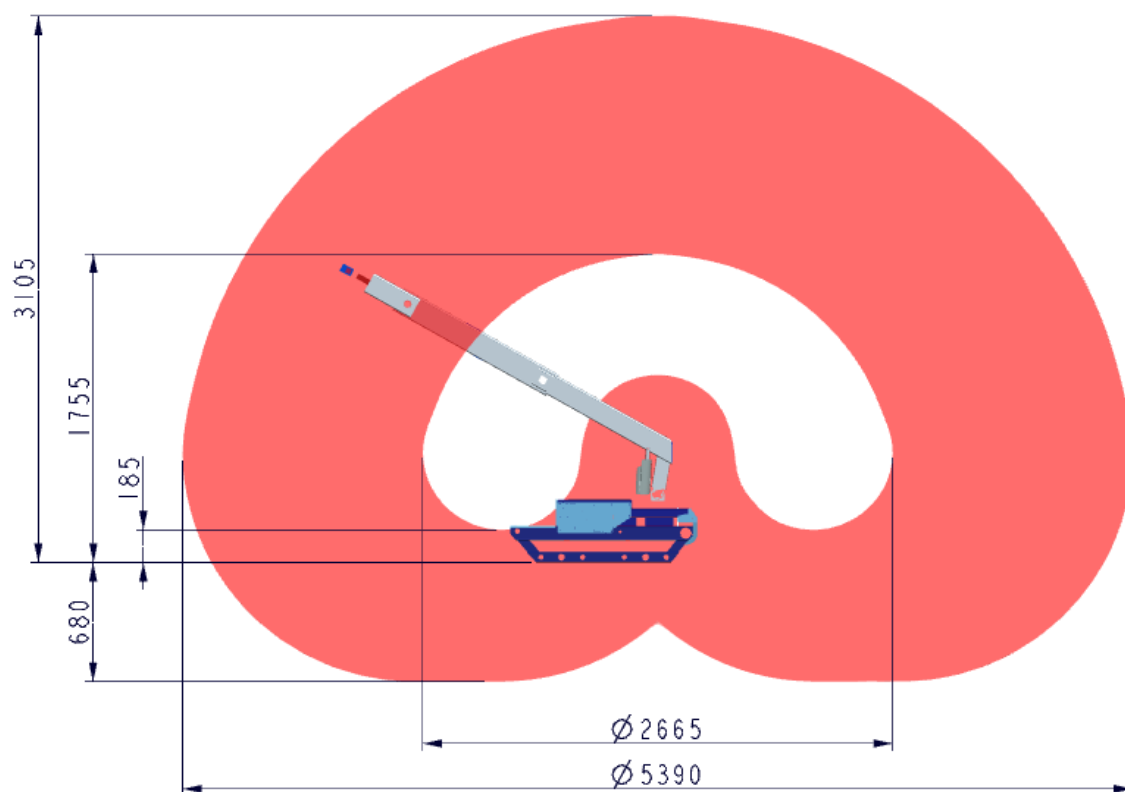


### 5.2.3 – Parkovací poloha ramene B

### 5.3 Varianta C

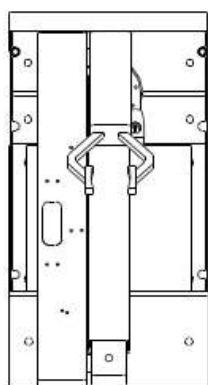
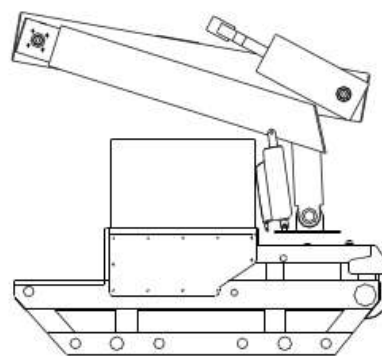
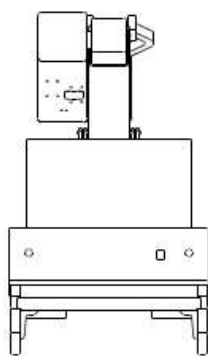


5.3.1 – Koncepční návrh ramene C



Objem pracovního prostoru:  $5,459 \times 10^{10} \text{ mm}^3$

### 5.3.2 – Pracovní prostor ramene C



### 5.3.3 – Parkovací poloho ramene C



## 6 Výběr optimální varianty

Optimální varianta se stanoví pomocí hodnotové analýzy, která zvyšuje efektivnost technické tvůrčí práce. (14)

### 6.1 Teoretická část

#### *Kritéria hodnocení a jejich významnost*

Kritéria výrobků se pro lepší přehlednost zapíší do tabulky a uvedou se jejich charakteristiky. (tab. 6.1.1)

číslo kritéria	kritérium	charakteristika kritéria
K1	název kritéria	zde napíšeme charakteristiku daného kritéria
K2	...	...

Tab. 6.1.1– tabulka kritérií

#### *Bodovací stupnice*

Navržená kritéria (tab. 6.1.1) se budou dále hodnotit podle lineární bodovací stupnice (tab. 6.1.3). (14)

Příklad tabulky pro bodové hodnocení kritérií. (tab. 6.1.2)

bodovací stupnice	počet bodů
vysoká úroveň	1
dobrá úroveň	2
průměrná úroveň	3
nízká úroveň	4
nevyhovující úroveň	5
mimořádně nepříznivý stav	6

Tab. 6.1.3 – tabulka lineární bodovací stupnice

varianta	číslo kritéria		
	K1	K2	K3
A	počet bodů	...	...
B	počet bodů	...	...

Tab. 6.1.2 – tabulka hodnocení kritérií

**Metoda porovnání kritérií v trojúhelníku párů**

Do levé části tabulky se zapíší porovnávané páry kritérií.

porovnávané páry kritérií				počet voleb	pořadí	váha významnosti
K1	K1	K1	K1	3		
K2	K3	K4	K5		...	...
	K2	K2	K2	...		
	K3	K4	K5		...	...
		K3	K3	...		
		K4	K5		...	...
			K4	...	...	...
			K5	...	...	...
			celkem	...		

**Tab. 6.1.4 – tabulka porovnávání kritérií**

Do sloupce počet voleb jsou uvedeny počty převládajících kritérií. Pokud se pro porovnávání určí obě kritéria stejně významné, dostane se hodnota 0,5. Pokud se určí, že jedno kritérium má vyšší významnost, než druhé, vyjde hodnota 1. V uvedeném příkladu se do sloupce počet voleb v prvním řádku vypočítá hodnota (vzorec 6.1.1)(14)

**(rovnice 6.1.1)**

kde - je počet voleb i-tého kritéria

Ve sloupci pořadí se určí pořadové číslo dle hodnoty uvedené ve sloupci počet voleb, kde nevyšší číslo má pořadové číslo jedna.

Váha významnosti je určena dle vzorce. (vzorec 6.1.2) (14)

**(rovnice 6.1.2)**

kde - je váha významnosti i-tého kritéria

### ***Tvorba a hodnocení kritérií***

Pro komplexní hodnocení kritérií jsem zvolil metodu PATTERN, pomocí které určím vypočtené hodnoty. (14)

kritérium		varianta		
		A	B	C
K1	hodnota kritéria	...	...	...
	index	...	...	...
	vážený index	...	...	...
součet vážených indexů		...	...	...
výsledné pořadí		...	...	...

**Tab. 6.1.5 – tabulka komplexního hodnocení kritérií**

Do řádku hodnotá kritéria bude uvedena hodnota z tabulky (tab.6.1.3).

Index bude vypočítán dle níže uvedeného vzorce (vzorec 6.1.3). (14)

$$I_{kj} = \frac{K_{kj}}{\sum_{k=1}^n K_{kj}} \quad (\text{rovnice 6.1.3})$$

kde  $K_{kj}$  - hodnota i-tého kritéria j-té varianty

$\sum_{k=1}^n K_{kj}$  - je celkový součet počtu voleb

Vážený index bude vypočten dle vzorce (vzorec 6.1.4), kde  $w_k$  je váha významnosti uvedení v tabilce (tab. 6.1.4). (14)

$$V_{kj} = I_{kj} \cdot w_k \quad (\text{rovnice 6.1.4})$$

Do řádku součet vážených indexů budou sečteny vážené indesy dané varianty dle vzorce (vzorec 6.1.5). A podle něj bude do řádku pořadí uvedeno pořadí vzestupně podle nejvyšší hodnoty  $V_{kj}$ . (14)

$$R_j = \text{řadí } V_{kj} \text{ vzestupně} \quad (\text{rovnice 6.1.5})$$

## 6.2 Řešení

Určení kritéria navržených variant. (tab. 6.2.1)

číslo kritéria	kritérium	charakteristika kritéria
K1	tuhost ramene	jak tuhé je rameno při manipulaci s objektem manipulace
K2	hmotnost ramene	celková hmotnost ramene
K3	pracovní prostor	co možná největší pracovní prostor
K4	složitost konstrukce	co možná nejjednodušší rameno
K5	náklady na výrobu	co možná nejnižší náklady na výrobu
K6	rozměry ramene	co možná nejmenší rozměry ramene

**Tab. 6.2.1**

Hodnocení kritérií navržených variant. (Tab. 6.2.2)

varianta	číslo kritéria					
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A	2	2	1	2	2	3
B	3	4	4	4	3	2
C	3	3	3	3	2	2

**Tab. 6.2.2 – tabulka hodnocení kritérií**

Podle metody porovnávání páru jsem vytvořil tabulku (Tab. 6.2.3)

porovnané páry kritérií					počet voleb	pořadí	váha významnosti
K1	K1	K1	K1	K1	4	1.	1,6
K2	K3	K4	K5	K6			
	K2	K2	K2	K2	2,5	2.	1,3
	K3	K4	K5	K6			
		K3	K3	K3	3	3.	1,4
		K4	K5	K6			
			K4	K4	0	4.	0,8
			K5	K6			
				K5	1	5.	1
				K6	0	6.	0,8
				celkem	10,5		

**Tab. 6.2.3 – tabulka porovnávání páru**

Počet voleb jsem vypočítal dle vzorce (vzorec 6.1.1).

Váhu významnosti jsem vypočítal dle vzorce (vzorec 6.1.2)

Pomocí metody PATTERN jsem provedl komplexní zhodnocení kritérií. (Tab. 6.2.4)

kritérium		varianta		
		A	B	C
K1	hodnota kritéria	2	3	3
	index	5,25	3,5	3,5
	vážený index	8,4	5,6	5,6
K2	hodnota kritéria	2	4	3
	index	5,25	2,625	3,5
	vážený index	6,825	3,4125	4,55
K3	hodnota kritéria	1	4	3
	index	10,5	2,625	3,5
	vážený index	14,7	3,675	4,9
K4	hodnota kritéria	2	4	3
	index	5,25	2,625	3,5
	vážený index	4,2	2,1	2,8
K5	hodnota kritéria	2	3	2
	index	5,25	3,5	5,25
	vážený index	5,25	3,5	5,25
K6	hodnota kritéria	3	2	2
	index	3,5	5,25	5,25
	vážený index	2,8	4,2	4,2
součet vážených indexů		<b>42,175</b>	22,4875	27,3
výsledné pořadí		<b>1.</b>	3.	2.

**Tab. 6.2.4 – tabulka komplexního zhodnocení kritérií**

Do řádku hodnota kritérií jsem uvedl hodnoty již uvedené v tabulce (Tab. 6.2.2).

Index jsem vypočetl podle vzorce (vzorec 6.1.3)

$$I = \frac{H}{n}$$

Vážený index jsem vypočetl podle vzorce (vzorec 6.1.4)

Součet vážených indexů jsem vypočetl podle vzorce (vzorec 6.1.5)

Podle tabulky shrnutých výsledků (tab. 6.2.5) je vítězná varianta A (obr. 6.2.1).

varianta	vypočtená hodnota	pořadí
varianta A	42,8	1.
varianta C	27,3,	2.
varianta B	22,487	3.

**Tab. 6.2.5 – tabulka výsledků analýzy**



**Obr. 6.2.1 – vítězná varianta A**

## 7 Úprava požadavkového listu

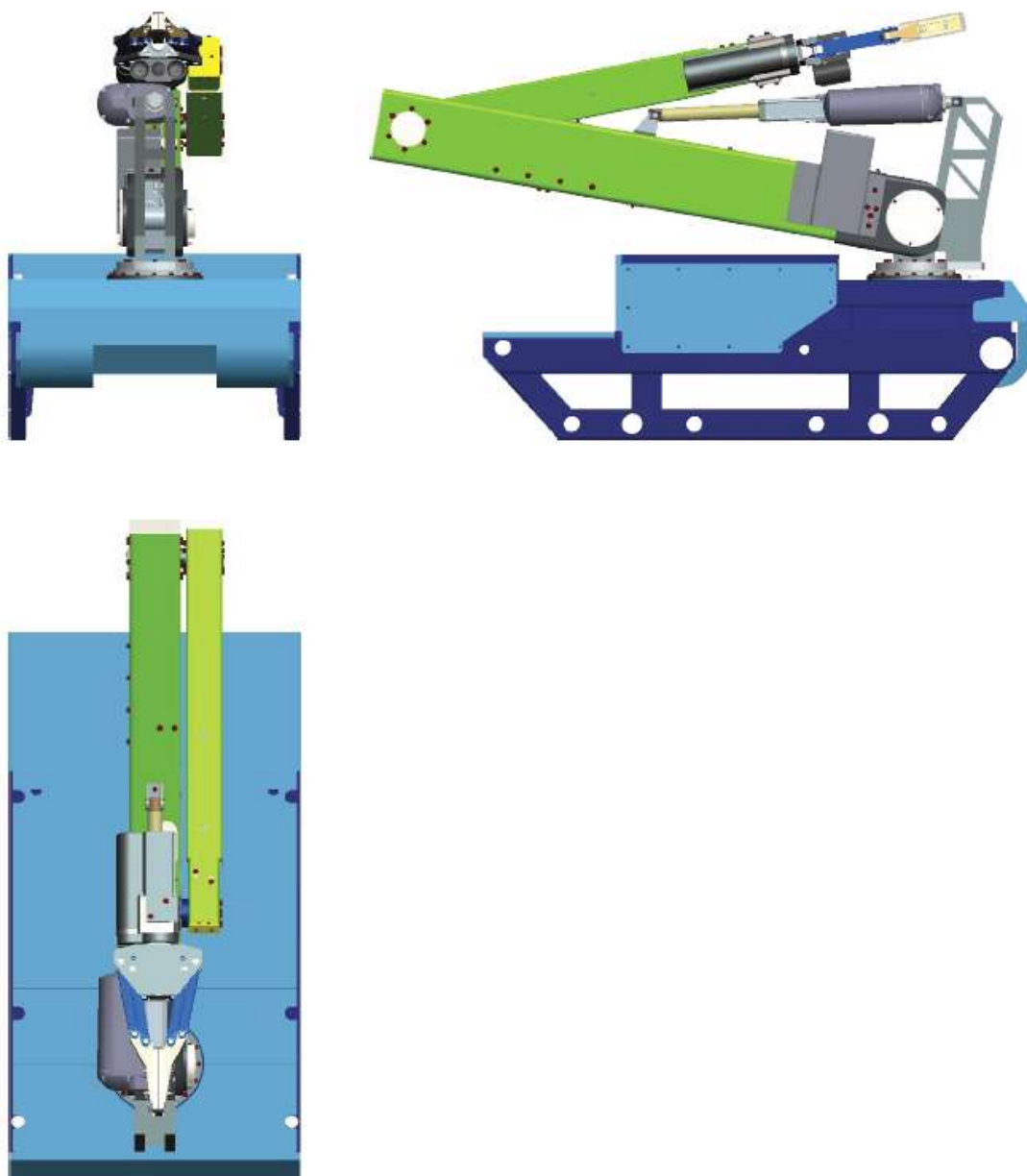
Po důkladné analýze a výpočtů byl, po konzultaci s vedoucím diplomové práce, upraven požadavkový list. Nové hodnoty jsou znázorněny v tabulce (Tab. 7.1)

Nosnost ramene	3 kg
Maximální počet stupňů volnosti	4
Druhy pohonu	pokud možno lineární pohon
Maximální dosah ramene	(1,5 – 2) m
Rychlost ramen	(0,5-1) ms <sup>-1</sup>
Zrychlení ramene v koncovém bodu	(0,5-1)ms <sup>-2</sup>
Vlastnosti ramene	rameno by mělo být voděodolné a prachu vzdorné pro vnitřní i venkovní použití

**Tab. 7.6.2.1 – nový požadavkový list**

## 8 Návrh zvolené varianty

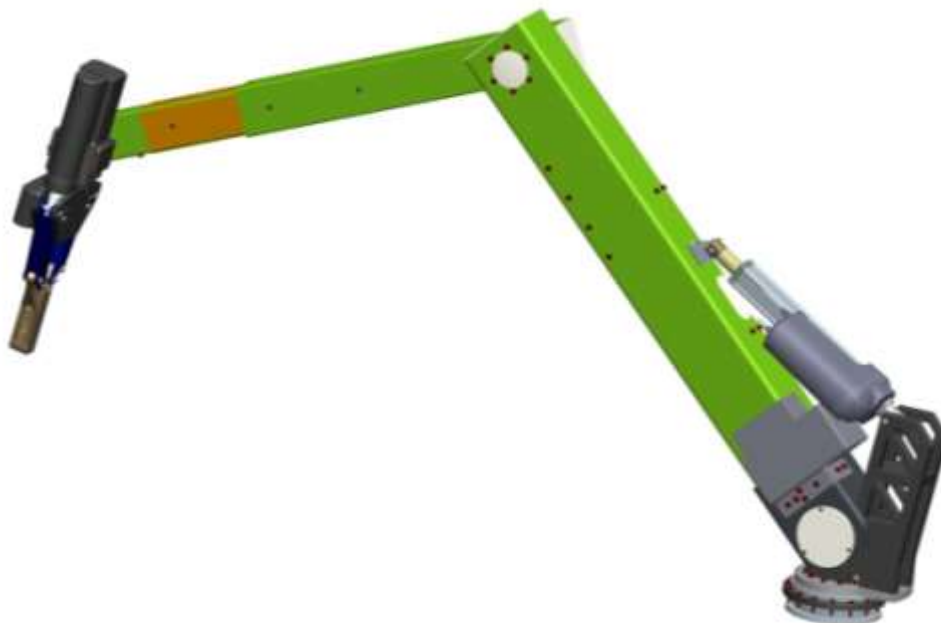
Na obrázku (Obr. 8.1) je znázorněna parkovací poloha ramene. Na pásovém podvozku budou upevněny úchyty pro zabezpečení ramene při pohybu v terénu.



Obr. 8.6.21. – parkovací poloha navrženého ramene



Na obrázku (Obr. 8.2 a Obr. 8.3.) je znázorněno rameno ve dvou pohledech v pracovním poloze.

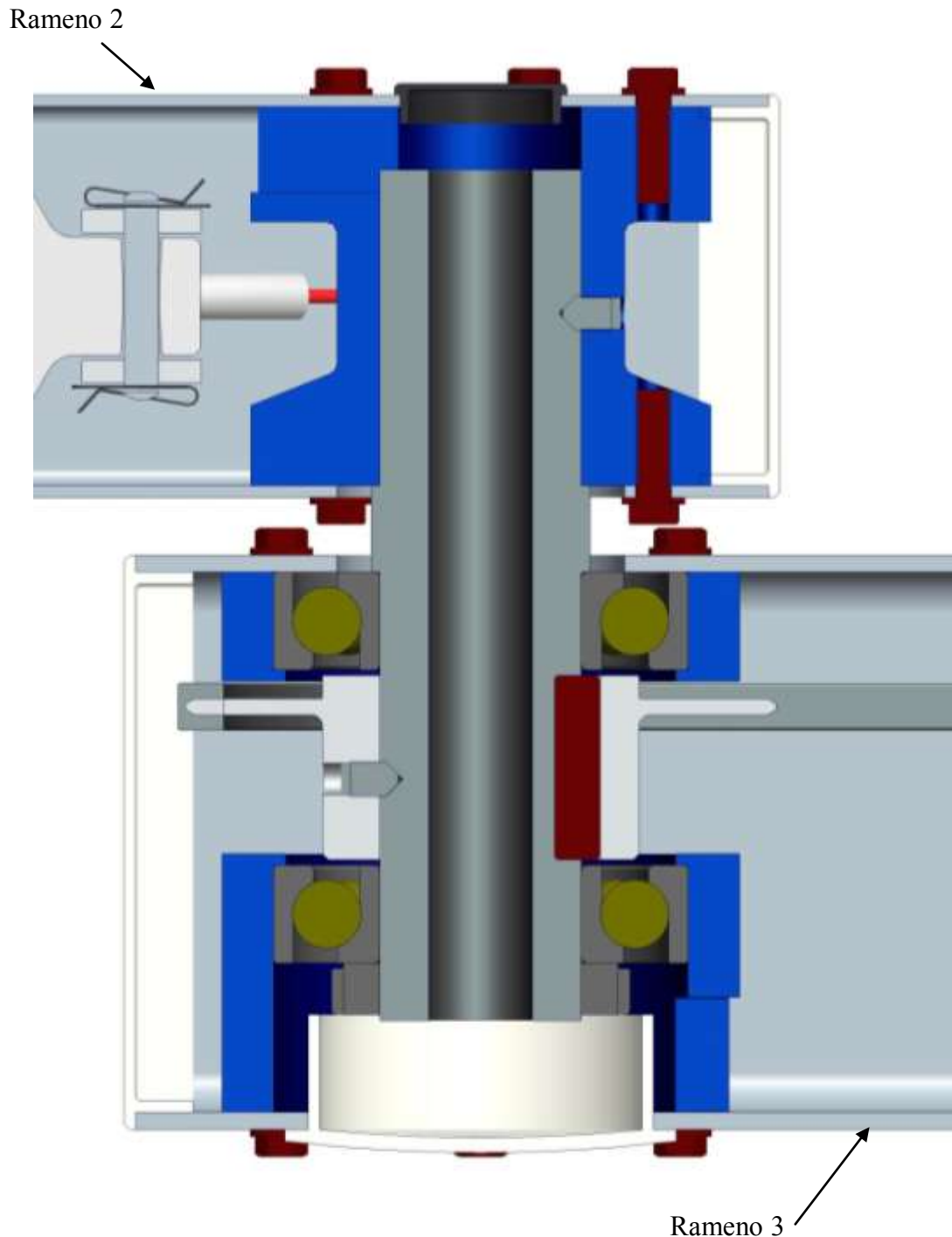


**Obr. 8.2 – pohled na navržené rameno**



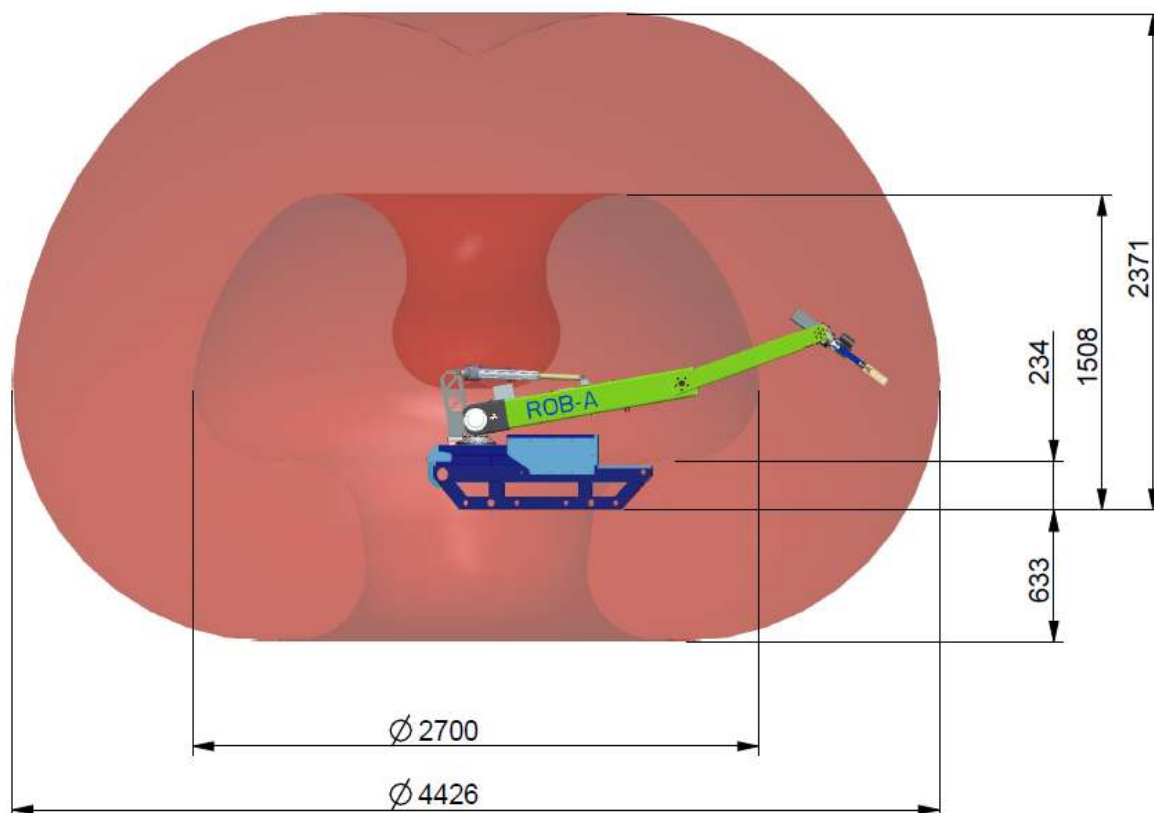
**Obr. 8.3 – pohled na navržené rameno**

Kabely, potřebné pro řízení ramene a sledování obrazu kamerového systému, budou vedeny skrz ramena až k pásovému podvozku. Na obrázku (Obr. 8.4.) je vykreslena dutina v kloubu mezi ramenem 2 a ramenem 3. Mezi efektořem a ramenem 2 bude kabel vyveden s krytu ramene.



Obr. 8.4 – pohled na dutý kloub ramene

Na obrázku (Obr. 8.5) je vykreslen pracovní prostor. Objem pracovního prostoru je . Pracovní prostor je vykreslen dle možnosti pohybu ramene, a však při jeho plném využití hrozí, že rameno narazí do konstrukce podvozku. Je zapotřebí rozsah pohybu ramene omezit programem dle rozměrů podvozku.



Obr. 8.5 – pracovní prostor navrženého ramene

## 9 Zakoupené komponenty

V tabulce (Tab. 9.1.) jsou vypsány komponenty, které se zakoupí u uvedených firem, ostatní komponenty budou vyrobeny dle výkresové dokumentace.

Základna		
Název	Označení	Firma
Otočné kolo	PRT-01-06-H1	IGUS ®
Lineární aktuátor LA36	zdvih 270mm	LINAK C&S s.r.o.
Rameno 3		
Profil jäckl obdélníkový	100x70x3-1000mm	FERONA a.s.
Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem	7207 BEP	SKF GROUP s.r.o.
	7209 BEP	
Kuličkové ložisko	61802	
Pojistná matice	KM 9	
Pojistná matice	KM 7	
Pojistná podložka	MB 9	
Pojistná podložka	MB 7	
Řetěz	R05B-1	T.E.A. TECHNIK s.r.o.
Kuličkové pouzdro	KH 1228	
Lineární aktuátor LA31	zdvih 240mm	LINAK C&S s.r.o.
Pero 10e7x8x32		
Rameno 2 pevné		
Profil jäckl obdélníkový	9070x2-650mm	FERONA a.s.
Kluzný pás	POM PCMS 1005001.50 M	SKF GROUP s.r.o.
Lineární aktuátor L22	zdvih 200mm	LINAK C&S s.r.o.
Rameno 2 výsuvné		
Profil jäckl obdélníkový	80x60x2-426mm	FERONA a.s.
Kluzný pás	POM PCMS 1005001.50 M	SKF GROUP s.r.o.
Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem	7203 BEP	
	7200 BEP	
Pojistná matice	KM 0	
Pojistná podložka	MB 0	MAXON MOTOR ag
Převodovka	GP 52-223101	
Motor	RE 40-148867	
Brzda	AB 28-228389	
Senzor	HEDL 5540-110514	
Pero 5e7x5x12		

Tab. 9.1. – tabulka zakoupených komponentů

## 10 Závěr

Diplomovou práci jsem vypracoval podle zásad uvedených v zadání.

Ramena jsou navržena z obdélníkových jăklů. V kloubech všech ramen jsem použil kuličková ložiska s kosoúhlým stykem, které jsou zajištěny pojistnými maticemi.

Rameno 3 je uloženo na otočném kole s kluznými plochami. Mezi motorem a ramenem 3 je navržené ozubené kuželové soukolí pomocí programu MITCalc. Rameno se skládá ze svařeného obdélníkového jăklu. Otočné kolo je upevněno k rámu podvozku a na něm je přišroubována základna. Pro rotaci ramene jsem použil lineární aktuátor, který je uložen mimo rameno a mimo podvozek. Tuto variantu řešení jsem zvolil z důvodu nedostatku prostoru pro uložení motoru jak v ramenu, tak i v podvozku.

Rameno 2 se pohybuje pomocí lineárního aktuátoru a systému táhel, řetězu a řetězových kol, které jsou uloženy v ramenu 3. Systém dovoluje manipulaci ramene o 270°. Tento rozsah pohybu byl upraven od původní navržené varianty kvůli zmenšení sil působících v ramenu. Pro zvolený řetěz je zapotřebí vyrobit řetězová kola navržených rozměrů. Ozubení je normováno dle výrobce řetězu, avšak rozměry pro uložení kol jsou upraveny.

Výsuvná část ramene 2 je vysouvána pomocí lineárního aktuátoru L22 o zdvihu 200mm. Výsuvné rameno je uloženo v kluzných pásech. Kluzné pásy nejsou zapotřebí zakrytovat, nebo jejich vlastnosti neovlivňuje ani voda, ani prach. V případě použití ramene ve velmi prašném prostředí krytování doporučuji.

Pro rotaci efektoru jsem zvolil motory Maxon. Mezi efektozem a motorem je kuželové ozubené soukolí navrženo pomocí programu MITCalc.

Kabeláž potřebná pro obraz z kamerového systému a ovládání ramene je vedená vnitřním prostorem. Na konci ramene 2 (mezi ramene a efektozem) je zapotřebí kabely vyvést otvorem ven. Tuto variantu řešení jsem zvolil proto, že efektor má vývod kabelů mimo upnutí k ramenu.

Většina krytů použité pro zaslepení otvorů v profilech ramen jsou zakoupeny. Jejich rozměry jsou normalizovány a proto jsou otvory přizpůsobeny podle norem krytek. Na konce profilů jsou použity kryty od firmy Ferona a.s.

Po namontování ramene je důležité, aby se zatížila opačná část podvozku. Vzniká riziko překlopení robotu při manipulaci s předmětem.

V diplomové práci jsem se nezabýval kamerovým systémem upevněným na ramenou, řídicí jednotkou pro zvolené pohony, software a celkové náklady na výrobu manipulačního ramene.

## 11 Seznam použitých pramenů

1. *ROBOLABZ*. [Online] 2010. [Citace: 28. Duben 2012.]  
<http://www.robolabz.com/index.php/robot-diy-kits/mobile-robotic-arm.html>.
2. *SCHOOL OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCE*. [Online] Robotics and Mechatronics Laboratory, 2012. [Citace: 25. duben 2012.]  
<http://www.seas.gwu.edu/~bentzvi/researchWirelessHybrid.php>.
3. Defense & Public Safety. *iRobot*. [Online] iRobot, 2012. [Citace: 28. Duben 2012.]  
[http://www.irobot.com/gi/ground/510\\_PackBot/](http://www.irobot.com/gi/ground/510_PackBot/).
4. ROBOTICS RESEARCH GROUP. *University of Texas at Austin*. [Online] 6. Březen 2009. [Citace: 28. Duben 2012.] <http://www.robotics.utexas.edu/rrg/research/mobilemp/>.
5. OmniRob. *Hizook*. [Online] 2011. [Citace: 28. duben 2012.]  
<http://www.hizook.com/blog/2009/08/20/omnirob-kuka-robotics-foray-omnidirectional-mobile-manipulation-platforms>.
6. Talon Small Mobile Robot. *MEGAMACHINE*. [Online] MegaMachine, Duben 2010. [Citace: 28. Duben 2012.] <http://www.megamachine.info/2010/05/talon-small-mobile-robot.html>.
7. PIAP. *army-technology*. [Online] 2011. [Citace: 28. Duben 2012.] <http://www.army-technology.com/contractors/mines/piap/>.
8. telerob GmbH. *Military Suppliers & News*. [Online] 2012. [Citace: 28. Duben 2012.]  
<http://www.armedforces-int.com/suppliers/telerob-gmbh.html>.
9. SuperDroid HD2 SWAT. *RobotShop*. [Online] 2012. [Citace: 28. Duben 2012.]  
<http://www.robotshop.com/productinfo.aspx?pc=RB-Sdr-11>.
10. Lynxmotion Tri-Track Chassis kit. *RobotShop*. [Online] 2012. [Citace: 28. Duben 2012.]  
<http://www.robotshop.ca/lynxmotion-tri-track-chassis-kit-3.html>.
11. Coolest Robots of the Year. *PCWorld*. [Online] 1998. [Citace: 20. duben 2011.]  
[http://www.pcworld.com/article/178239/fostermiller\\_maars\\_military\\_robots.html](http://www.pcworld.com/article/178239/fostermiller_maars_military_robots.html).
12. Taktické cvičení BURNING FOREST 2010. *Armáda České republiky*. [Online] Ministerstvo obrany, 2004. [Citace: 28. duben 2012.]  
<http://www.acr.army.cz/scripts/detail.php?id=41133&newsid=41113&listid=8&tmplid=83>.

13. Pictures of the day: 19 August 2009. *The Telegraph*. [Online] 2012. [Citace: 28. duben 2012.]

<http://www.telegraph.co.uk/news/picturegalleries/picturesoftheday/6054261/Pictures-of-the-day-19-August-2009.html?image=23>.

14. **Skařupa, Jiří.** *Metodika konstruování*. Ostrava : VŠB-TU, 1993. 80-7078-167-X.



## 12 Přílohy

- Výkres sestavy, ROB-A, 1-MAZ112-0001, formát A1
- Výkres sestavy, ROB-A-3, 1-MAZ112-0001.1, formát A1
- Výkres sestavy, ROB-A-2-1, 1-MAZ112-0001.2.1, formát A1
- Výkres sestavy, ROB-A-2-2, 1-MAZ112-0001.2.2, formát A1
- Pevnostní analýza ramen
- 1x CD